

VIABILIDADE DE DIFERENTES ROTAÇÕES CULTURAIS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE ALQUEVA

FERTILIDADE DO SOLO E EFICIÊNCIA NO USO DOS NUTRIENTES (PARTE II/II)

Por: Manuel Patanita^{1,2}/ Isabel Guerreiro¹/Alexandra Tomaz^{1,2*}/ José Dôres¹/ Luis Boteta³/ José Ferro Palma¹
*atomaz@ipbeja.pt

¹ Departamento de Biociências, Escola Superior Agrária - Instituto Politécnico de Beja. R. Pedro Soares S/N, 7800-295 Beja, Portugal

² GeoBioTec, Universidade Nova de Lisboa. Campus da Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal

³ Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, Quinta da Saúde, Apartado 354, 7801-904 Beja, Portugal

FEASIBILITY OF DIFFERENT CROP ROTATIONS IN THE ALQUEVA REGION.

SOIL FERTILITY AND NUTRIENTS USE EFFICIENCY

(PART II / II)

RESUMO

Em sistemas culturais de regadio, necessariamente mais intensivos, o caminho para a melhoria da sua eficiência produtiva depende de uma adequada gestão dos recursos empregues no processo produtivo. Com base num projeto de demonstração realizado em duas explorações agrícolas localizadas no Baixo Alentejo,

no perímetro de rega de Alqueva, analisaram-se parâmetros de fertilidade do solo e eficiência de uso dos nutrientes (NUE) numa monocultura de milho (M-M) e em duas rotações, cevada+milho-cevada (C+M-C) e girassol-cevada+milho (G-C+M). As sucessões M-M e C+M-C apresentam os melhores indicadores de NUE em relação ao azoto e ao fósforo. Em todas as sucessões culturais, a NUE de potássio foi baixa, evidenciando a necessidade de equacionar de forma cuidada as adições deste nutriente por fertilização.

Palavras-chave: Alqueva; Monocultura; Rotação; Nutrientes; NUE.

ABSTRACT

In irrigated farming systems, necessarily more intensive, the way to improve productive efficiency depends on the proper management of the resources employed in the production process. Based on a demonstration project carried out in two farms located in Baixo Alentejo, in the Alqueva irrigation perimeter, soil fertility parameters and nutrients use efficiency (NUE) were studied in a maize

monoculture (M-M) and in two rotations, barley+maize-barley (C+M-C) and sunflower-barley+maize (G-C+M). The M-M and C+M-C successions showed the best indicators of NUE for nitrogen and phosphorus. In all the crop successions, the potassium NUE was low, suggesting the need to carefully equate the additions of this nutrient by fertilization.

Keywords: Alqueva; Monoculture; Crop Rotation; Nutrients; NUE.

1. INTRODUÇÃO

À utilização crescente de água para rega que resulta do desenvolvimento dos aproveitamentos hidroagrícolas do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA), adiciona-se, inevitavelmente, um incremento no uso de fertilizantes, o que torna imperiosa a procura de soluções técnicas que contribuam para uma intensificação sustentável da agricultura da região. Acresce ainda a pressão sobre os regantes no sentido de aumentar a eficiência dos sistemas, alcançar maior produtividade e usar menos recursos fazendo-o frequentemente sem o conhecimento e a assistência necessária para





que se adotem as melhores estratégias e práticas numa agricultura em mudança que se quer produtiva mas sustentável (Pereira *et al.*, 2012; Levidow *et al.*, 2014).

Como referem Pereira *et al.* (2012), embora o caminho para a melhoria das respostas produtivas esteja dependente de uma adequada gestão da água, para ela contribuem de forma igualmente determinante a escolha das espécies e cultivares melhor adaptadas às condições edafoclimáticas locais e a seleção criteriosa das operações de cultivo empregues. De entre as vantagens que o cultivo de culturas em rotação apresenta, a manutenção da fertilidade do solo e redução dos processos erosivos, encontram-se entre as mais importantes. Rotações equilibradas permitem potenciar os mecanismos autorregulação dos ecossistemas agrícolas, interrompendo os ciclos de doenças e pragas, controlando a flora infestante e reciclando nutrientes, contribuindo deste modo para a melhoria da sustentabilidade económica e ambiental dos sistemas (López-Fando e Almendros, 1995; Eltz e Norton, 1997; Sainju *et al.*, 2011). A rentabilização económica que pode advir do uso de rotações depende da correta escolha das culturas, de um apropriado fornecimento de água e nutrientes, bem como de condições edafoclimáticas adequadas.

A avaliação da resposta das culturas à rega e à fertilização azotada, fosfatada e potássica pode permitir identificar a melhor forma de alocar os recursos disponíveis às diferentes culturas, de modo a maximizar o benefício e minimizar a poluição das águas subterrâneas (Di Paolo e Rinaldi, 2008). A disponibilidade e o uso da água, bem como o fornecimento de nutrientes às culturas são fatores em íntima

interação, afetando o crescimento das plantas e as suas respostas produtivas (Albrizio *et al.*, 2010; Fixen *et al.*, 2015). Fertilizações azotadas adequadas promovem uma expansão da área foliar, um aumento da taxa de cobertura vegetal e, conseqüentemente, um aumento da transpiração e uma redução da evaporação, aumentando assim a eficiência evapotranspirativa das plantas. Maiores disponibilidades de fósforo para as plantas favorecem o desenvolvimento radicular, contribuindo assim para o aumento da água disponível. Pelo seu papel de regulador osmótico, o potássio determina a extração de água pelas raízes, o seu transporte para outras partes da planta e a gestão da água na própria planta, reduzindo as perdas de água por transpiração (Grzebisz *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2015). Desta forma, o estado hídrico das culturas influencia a eficiência no uso dos nutrientes e, ao mesmo tempo, o estado nutricional das plantas pode influenciar fortemente a eficiência no uso da água.

A eficiência de utilização dos recursos por culturas submetidas a diferentes níveis de rega e/ou de fertilização tem sido estudada por diversos investigadores, como por exemplo Nevens e Reheul (2001), Di Paolo e Rinaldi (2008), Albrizio *et al.* (2010), Morell *et al.* (2011) ou Langeroodi *et al.* (2014). Estes trabalhos, realizados em parcelas de ensaio, centraram-se especificamente em culturas como o milho (*Zea mays* L.), o trigo duro (*Triticum durum* Desf.), a cevada (*Hordeum vulgare* L.) ou o girassol (*Helianthus annuus* L.) e não em rotações das mesmas.

Este artigo baseia-se num projeto de demonstração realizado em duas explorações agrícolas localizadas no perímetro de rega de

Alqueva. Pretende-se: (i) avaliar a evolução dos parâmetros de fertilidade do solo e (ii) as respostas produtivas à fertilização numa monocultura de milho e em duas rotações culturais que incluem, para além do milho, a cevada e o girassol.

2. METODOLOGIA

O projeto decorreu nos anos agrícolas 2012/2013 e 2013/2014. Tal como descrito no artigo publicado no número 20 desta revista, foram experimentadas as seguintes sucessões de culturas: uma monocultura de milho (M-M) e as rotações cevada+milho-cevada (C+M-C) e girassol-cevada+milho (G-C+M), regadas por center-pivot. As duas primeiras numa exploração localizada no Concelho de Aljustrel; a última, no Concelho de Serpa (Figura 1). Em todas as parcelas estudadas os solos são Cambissolos (Classificação FAO) e o clima é Mediterrânico ou Temperado com Verão quente e seco (Classificação de Köppen). Em 2012, foram colhidas amostras de terra, tendo-se determinado por crivagem a percentagem de terra fina e por análise granulométrica a textura (Tabela 1). A massa volúmica aparente estimou-se preenchendo um recipiente de volume conhecido com terra fina que foi posteriormente pesada. As percentagens de humidade a 1/3 de atmosfera e a 15 atmosferas foram determinadas recorrendo a placas de pressão e de cerâmica.

As quantidades aplicadas de adubos azotados, fosfatados e potássicos encontram-se na Tabela 2.

A avaliação da fertilidade do solo fez-se no ano anterior à instalação do ensaio e previamente à sementeira em cada cultura, com base

na determinação dos seguintes parâmetros na terra fina: teor de matéria orgânica total, através do método de Walkley-Black; reacção do solo $-pH$ (H_2O), pelo método potenciométrico; teores em fósforo e potássio, através do método de Egner-Riehm. Para este efeito, as amostras de terra foram colhidas em quatro datas no caso das rotações e em três datas no caso da monocultura, na camada arável, 0 a 30 cm, utilizando uma sonda de meia cana.

Na determinação da eficiência de uso dos nutrientes, usaram-se as seguintes relações (Pikul *et al.*, 2005; Di Paolo e Rinaldi, 2008; Albrizio *et al.*, 2010; Fixen *et al.*, 2015): (i) eficiência de uso do azoto (N) disponível (kg/kg), dada por $NUE_N = R/N_D$, onde R é o rendimento da cultura (kg/ha) e N_D corresponde ao N disponível (kg/ha), resultante de fontes na forma mineral por aplicação de fertilizantes, não se considerando as quantidades de N que podem ser libertadas por mineralização da matéria orgânica, à exceção dos casos em que o teor de m.o. é superior a 2.5% (Diário da República, Portaria nº 259/2012); (ii) eficiência de uso do fósforo (P) disponível (kg/kg), calculada por $NUE_P = R/P_D$, onde P_D corresponde ao P disponível (kg/ha de P_2O_5), resultante da fertilização mineral e do teor extraível existente no solo; (iii) eficiência de uso do potássio (K) disponível (kg/kg), calculada por $NUE_K = R/K_D$, onde K_D corresponde ao K disponível (kg/ha de K_2O), resultante da aplicação de fertilizantes minerais e do teor extraível existente no solo.

No cálculo da quantidade de N disponibilizado por mineralização da matéria orgânica do solo, considerou-se um teor de 5% de N na matéria orgânica, mineralizado a uma taxa de 1,5% ao longo do ciclo da cultura (Quelhas dos Santos, 1996).

Para determinação dos indicadores de eficiência de uso do fósforo e do potássio consideraram-se as retenções destes nutrientes passíveis de ocorrer no solo: 80% no caso do fósforo e 55% no caso do potássio. Nos solos das parcelas em estudo, de textura fina, é normal o fósforo ser fortemente retido, enquanto a disponibilidade de potássio é afetada pela sua adsorção na matriz do solo ou pela fixação nos minerais de argila (Quelhas dos Santos, 1996; Varennes, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. FERTILIDADE DO SOLO

No final do estudo, verificou-se que, quer nas duas rotações quer na monocultura, se alteraram os parâmetros de fertilidade do solo em

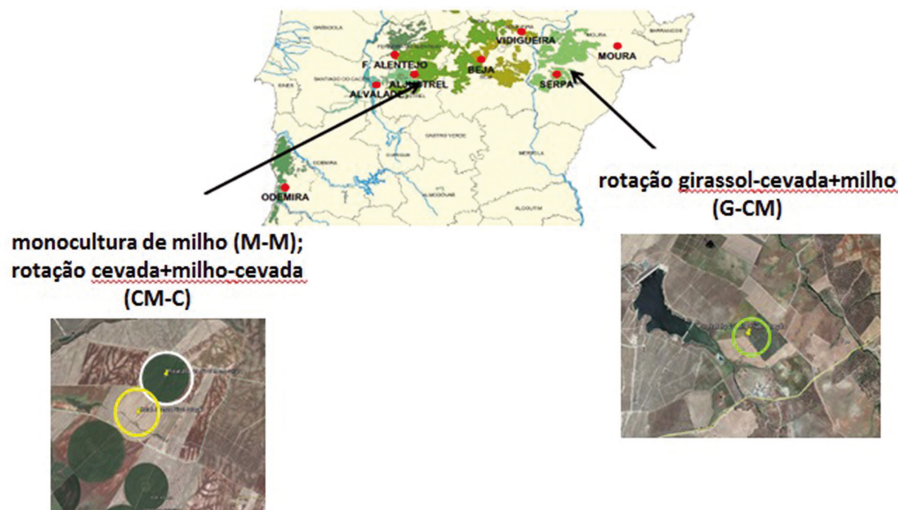


Figura 1
Localização das parcelas

estudo. Na monocultura de milho grão (cujo antecedente cultural foi milho) somente se verificou variação na reacção do solo (Tabela 3). Na rotação C+M-C (cujo antecedente cultural foi girassol) alteraram-se todos os parâmetros avaliados. Na rotação G-C+M (cujo antecedente cultural foi trigo mole) verificou-se variação mais importante em dois dos parâmetros quantificados, nomeadamente no teor de matéria orgânica total e na reacção do solo.

No final do ensaio, o valor de pH do solo baixou e foi classificado como neutro em qualquer das sucessões culturais, o que sugere que o balanço final entre entradas e saídas de prótões nos solos foi favorável a uma maior entrada de prótões. Das práticas culturais efetuadas, a aplicação de fertilizantes, pode ter sido um dos fatores que contribuiu de forma significativa para este resultado.

O teor de matéria orgânica total aumentou nas duas rotações culturais, contrariamente ao que ocorreu na monocultura, em que este teor se manteve. Relativamente às duas rotações, a rotação C+M-C com produções mais elevadas, registou também um maior aumento do teor de matéria orgânica total no solo. De facto, produções elevadas e sistemas de colheita que deixem no terreno uma elevada proporção da parte aérea das plantas contribuem para um enriquecimento do solo em matéria orgânica. Na rotação G-C+M, ocorreram problemas, quer na cultura do milho com o controlo das infestantes e os ataques de broca, quer no girassol, com a competição entre plantas, condições estas que se refletiram numa menor produção. Em relação à monocultura, o facto de

não ter ocorrido alteração no teor de matéria orgânica total no solo sugere que se estabeleceu um equilíbrio entre as perdas de matéria orgânica por atividade dos microrganismos, e as adições resultantes dos resíduos vegetais.

Quanto aos nutrientes fósforo e potássio extraíveis, os níveis altos de fósforo (M-M, C+M-C), alto de potássio (G-C+M) e muito alto de potássio (M-M, C+M-C), são resultados que podem permitir uma possível redução na aplicação futura de fertilizantes, reflectindo-se positivamente na fertilidade do solo e do ponto de vista económico.

3.2. EFICIÊNCIA NO USO DOS NUTRIENTES

Os valores de eficiência de uso do azoto disponível foram superiores nos cultivos de milho da monocultura, com o menor valor a verificar-se no milho da rotação G-C+M, reflectindo primordialmente as produtividades obtidas (Tabela 4) mas também a baixa eficácia na utilização do azoto disponível, resultante da fertilização e da mineralização da m.o. Estes resultados são contrários aos encontrados por Pikul *et al.* (2005) que no seu estudo sobre o rendimento do milho e o uso do azoto, em diferentes rotações, obtiveram valores mais altos de NUE_N para o milho em rotação com soja (43 kg/kg) ou em rotação com soja, trigo e luzerna (41 kg/kg), do que para o milho cultivado em monocultura (35 kg/kg). Di Paolo e Rossi (2008), estudando as respostas produtivas do milho a vários níveis de azoto e rega, encontraram, para níveis de fertiliza-

Sucessão cultural	Terra fina (%)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Limo (%)	Argila (%)	Massa volúmica aparente (g/cm ³)	Percentagem de humidade a 1/3 de atmosfera (qm, %)	Percentagem de humidade a 15 atmosferas (qm, %)
M-M	75,9	17,7	20,5	47,9	12,4	1,3	30,62	14,74
C+M-C	73,5	19,0	21,2	45,3	12,8	1,3	27,02	14,31
G-C+M	75,6	18,9	24,9	27,9	27,3	1,2	26,44	13,91

Tabela 1

Caracterização física dos solos (camada 0 a 30 cm).

Sucessão cultural	Cultura precedente	Cultura	Área (ha)	Azoto aplicado (kg/ha)	Fósforo aplicado (kg/ha)	Potássio aplicado (kg/ha)
M-M	Milho	Milho	34	359,3	94,7	150,0
		Milho	46	359,3	94,7	150,0
C+M-C	Girassol	Cevada	32	150,0	15,0	20,0
		Milho	32	285,5	45,0	22,5
		Cevada	32	155,0	20,0	25,0
G-C+M	Trigo mole	Girassol	18,5	131,0	47,0	67,0
		Cevada	18,5	92,7	33,0	0,0
		Milho	18,5	168,4	66,8	110,2

Tabela 2

Fertilizações azotada, fosfatada e potássica.

Sucessão cultural	Cultura	Áno	Matéria orgânica total (%)	pH (H ₂ O)(1:2,5)	Fósforo (P ₂ O ₅) mg/1000g	Potássio (K ₂ O) mg/1000g	Classe textural
M-M	Milho	2012	1.2 (B)	Pouco alcalino	195 (A)	412 (MA)	Franco-limosa
		2013	1.9 (B)	Neutro	150 (A)	347 (MA)	
		2014	1.2 (B)	Neutro	95 (M)	208 (MA)	
C+M-C	Cevada	2012	1.0 (MB)	Pouco Alcalino	82 (M)	190 (A)	Franco-limosa
		2013	0.7 (MB)	Pouco Alcalino	82 (M)	170 (A)	
		2013	1.6 (B)	Neutro	219 (MA)	452 (MA)	
		2014	2.1 (M)	Neutro	132 (A)	278 (MA)	
G-C+M	Girassol	2012	1.4 (B)	Pouco Alcalino	68 (M)	160 (A)	Franco-argilosa
		2013	3.1 (M)	Neutro	79 (M)	163 (A)	
		2014	3.9 (M)	Pouco Ácido	101 (A)	242 (MA)	
		2014	3.4 (M)	Neutro	82 (M)	190 (A)	

As letras entre parêntesis referem-se à classificação do valor do parâmetro de acordo com o método de determinação usado: MB – Muito Baixo; B – Baixo; M – Médio; A – Alto; MA – Muito Alto.

Tabela 3

Resultados da análise de terras durante os três anos de estudo.

Sucessão cultural	Cultura (ano)	Rendimento (kg/ha)	NUE _N (kg/kg)	NUE _P (kg/kg)	NUE _K (kg/kg)
M-M	Milho (2013)	15000	41.7	81.7	24.5
	Milho (2014)	17000	47.3	112.6	39.8
C+M-C	Cevada (2013)	5078	33.9	81.9	21.2
	Milho (2013)	10700	37.5	62.7	17.7
	Cevada (2014)	4900	31.6	51.2	12.8
G-C+M	Girassol (2013)	2544	15.6	28.3	9.5
	Cevada (2014)	4265	32.2	48.5	14.4
	Milho (2014)	4370	23.5	39.2	12.7

Tabela 4

Rendimentos, eficiências de uso do azoto (NUE_N), do fósforo (NUE_P) e do potássio (NUE_K) disponíveis.

ção azotada de 300 kg/ha, valores médios de NUE_N de 18.62 kg/kg e, para uma estratégia de rega de conforto hídrico, valores médios de 36.68 kg/kg. A comparação destes resultados com os obtidos nas culturas de milho e nas sucessões culturais estudadas, sugere que os valores se enquadraram no que é expectável e foram até em alguns casos superiores. No que à cevada diz respeito, destaca-se que os valores de NUE_N obtidos foram inferiores aos obtidos

por Albrizio *et al.* (2010) que encontraram valores ao redor de 50 kg/kg em cevada e em trigo, tanto em regime de sequeiro como em regadio, numa região do Sul de Itália, ou seja, em ambiente mediterrânico. O baixo valor de NUE_N determinado para o girassol, indica que a cultura foi muito pouco eficiente na utilização do azoto disponível se tivermos em conta que os valores médios deste indicador para as culturas em geral se encontram no intervalo

40 kg/kg a 90 kg/kg (Fixen *et al.*, 2015). No entanto, o NUE_N do girassol refletirá, mais do que a utilização do N disponível, a baixa produtividade da cultura.

A eficiência de uso do fósforo disponível obtida está, em quase todas as culturas, dentro dos intervalos médios referidos por Fixen *et al.* (2015), 45 – 110 kg/kg de P₂O₅. Mais uma vez a exceção é o girassol na rotação G-C+M, bem como o milho na mesma rotação, com valores inferiores. Estes resultados demonstram que sempre que o potencial produtivo das culturas foi alcançado, não sendo afetado por fatores de stress hídrico, fitossanitário ou resultante de práticas agronómicas menos ajustadas, as rotações estudadas e as culturas a elas associadas mostraram-se eficientes na utilização deste nutriente. O elevado valor de NUE_P verificado no milho da monocultura cultivado em 2014 resultou, por um lado, da maior produtividade obtida e, por outro, de uma menor disponibilidade de fósforo extraível presente no solo, mostrando, por um lado, que a cultura utilizou de forma muito eficaz o P disponibilizado pela fertilização mineral e, por outro, a importância da contabilização do fósforo extraível no solo nas recomendações de fertilização.

Verificaram-se, em todas as culturas, baixas eficiências no uso de potássio, considerando como referência os valores médios





de NUE_K para as culturas em geral (Fixen *et al.*, 2015): 60 – 165 (kg/kg de K_2O), referidos contudo apenas às disponibilidades de potássio veiculadas por adição de fertilizante e não considerando as disponibilidades do nutriente no solo. Para além dos valores esperados nas culturas de girassol e milho da rotação G-C+M, pelas razões acima referidas, tais resultados sugerem, nas restantes culturas e rotações, que as fertilizações potássicas poderiam ter sido inferiores, sem risco de comprometer os rendimentos esperados nem de afetar a manutenção da fertilidade do solo, salvaguardando a monitorização dos níveis deste nutriente no solo. À semelhança dos valores obtidos dos restantes indicadores, o milho foi a cultura mais eficiente na utilização do K.

No cômputo geral, a monocultura de milho e a rotação cevada+milho-cevada são as sucessões culturais com melhores indicadores de eficiência de uso de nutrientes, principalmente de azoto e de fósforo.

4. CONCLUSÕES

Contrariamente ao que ocorreu na monocultura, o teor de matéria orgânica total aumentou nas duas rotações culturais. Pelos efeitos benéficos deste constituinte no comportamento do solo agrícola este é um resultado que confirma as rotações culturais como práticas mais adequadas, principalmente em solos com baixos teores de matéria orgânica.

O balanço final dos teores de P e de K extraíveis foi positivo na rotação C+M-C, evidenciando que a prática da fertilização para veicular as aplicações destes nutrientes superou as exportações das culturas.

As sucessões M-M e C+M-C apresentaram os melhores indicadores de eficiência de uso de nutrientes, principalmente de azoto e de fósforo. Contudo, verificaram-se, em todas as culturas, baixas eficiências no uso de potássio, evidenciando a necessidade de equacionar de forma cuidada as adições deste nutriente por fertilização. ■

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo PRODER (Programa de Desenvolvimento Rural), através do projeto ROTALQ – *Soluções integradas de rotações culturais com viabilidade técnica e económica na área de influência do Alqueva*. Os autores manifestam o seu agradecimento aos membros da equipa do projecto. Um agradecimento especial é devido à Sociedade Agrícola Agro Vale Longo e à Sociedade Agrícola Saramago de Brito pela disponibilização dos locais para a realização do estudo.

Este trabalho é uma contribuição para o projeto UID/GEO/04035/2013 financiado pela FCT-Fundação para a Ciência e Tecnologia, em Portugal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albrizio, R., Todorovic, M., Matic, T., Stellacci, A.M., 2010. Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 115: 179–190
- Diário da República, Portaria n.º 259/2012 de 28 de agosto. 1.ª série – N.º 166 – 28 de agosto de 2012
- Di Paolo, E., Rinaldi, M., 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 105: 202–210.
- Eltz, F.L.F., Norton, L.D., 1997. Surface roughness changes as affected by rainfall erosivity, tillage and canopy cover. *Soil Sci.*, 61: 1746–1754
- Fixen, P., Brentrup, F., Bruulsema, T.W., Garcia, F., Norton, R., Zingore, S., 2015. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. In: Drechsel, P., Heffner, P., Magen, H., Mikkelsen, R., Wichelns, D. (Eds.), *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification*. IFA, IWMI, IPNI, IPI. Paris, France: 8–38.
- Grzebisz, W., Granse, A., Szczepaniak, W., Diatta, J., 2013. The effects of potassium on water-use efficiency in crop plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 176: 355–374.
- Langeroodi, A.R.S., Kamkar, B., Teixeira da Silva, J.A., Ataei, M., 2014. Response of sunflower cultivars to deficit irrigation. *HELLA*; 37(60): 37–58
- Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M., Scardigno, A., 2014. Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. *Agric. Water Manag.* 146: 84–94
- López-Fando, C., Almendros, G., 1995. Interactive effects of tillage and crop rotations on yield and chemical properties of soils in semi-arid Central Spain. *Soil Till. Res.*, 36: 45–57
- Morell, E.J., Lampurlanés, J., Alvaro-Fuentes, J., Cantero-Martínez, C., 2011. Yield and water use efficiency of barley in a semi-arid Mediterranean agroecosystem: Long-term effects of tillage and N fertilization. *Soil Till. Res.* 117: 76–84
- Nevens, E., Reheul, D., 2001. Crop rotation versus monoculture: Yield, N yield and ear fraction of silage maize at different levels of mineral N fertilization. *Netherlands J. Agric. Sci.*, 49: 405–425.
- Pereira, L.S., Cordery, I., Iacovides, I., 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agric. Water Manag.* 108: 39–51
- Pikul, J.L., HaM-Mack, L., Riedell, W., 2005. Corn yield, nitrogen use, and corn rootworm infestation of rotations in the Northern Corn Belt. *Agron. J.* 97:854–863.
- Quehas dos Santos, J., 1996. Fertilização. Fundamentos da utilização de adubos e correctivos. 2ª Ed. Publicações Europa-América. Coleção Euroagro. 442 pp.
- Sainju, U.M., Lenssen, A.W., Caesar-Tonthat, T., Jabro, J.D., Lartey, R.T., Evans, R.G. & Allen, B.L., 2011. Dryland residue and soil organic matter as influenced by tillage, crop rotation, and cultural practices. *Plant Soil*, 338: 27–41.
- Sharma, B., Molden, D., Cook, S., 2015. Water use efficiency in agriculture: measurement, current situation and trends. In: Drechsel, P., Heffner, P., Magen, H., Mikkelsen, R., Wichelns, D. (Eds.), *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification*. IFA, IWMI, IPNI, IPI. Paris, France: 39–64.
- Varenes, A., 2003. *Produtividade dos solos e ambiente*. Escolar Editora. Lisboa, 490 pp.